

CASO DE ESTUDO DE AFERIÇÃO DO POTENCIAL DA APLICAÇÃO DE TERRA LOCAL NA REABILITAÇÃO DE CONSTRUÇÕES DE TABIQUE

Rui Cardoso*, Conceição Damião*, Anabela Paiva, Jorge Pinto***, Humberto Varum******

*Instituto Politécnico de Coimbra (IPC)
Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Oliveira do Hospital (ESTGOH)
Rua General Santos Costa, 3400-124 Oliveira do Hospital, Portugal.
Telf: +351238605170; Fax: +351238605179
rui.cardoso@estgoh.ipc.pt

**Universidade da Beira Interior (UBI)
Centre of Materials and Building Technologies - C-MADE
Calçada Fonte do Lameiro, 4200-358 Covilhã, Portugal.
Telf: +351275329990; Fax: +351275329969
apaiva@utad.pt

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD)ECT, Departamento de Engenharias
Quinta de Prados, 5001-801 Vila Real, Portugal.
Telf: +351259350356; Fax: +351259350356
tiago@utad.pt

**** Universidade de Aveiro (UA)
Departamento de Engenharia Civil
Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal.
Telf: +351234370938; Fax: +351234370094
hvarum@ua.pt

Resumo:

A região norte de Portugal é rica em construções de tabique. Ainda existe uma escassez de trabalhos de investigação que ajudem a compreender melhor este tipo de construção antiga e que auxiliem trabalhos de reabilitação. Um trabalho de investigação tem vindo a ser desenvolvido de forma a documentar os aspectos construtivos relativo às construções de tabique existentes na região de Trás-os-Montes e Alto Douro e a estudar os materiais construtivos aplicados. Contudo, ainda não foi estudado o material terra existente e de forma a aferir o seu potencial na aplicação de trabalhos de reabilitação. Este trabalho de investigação tem como principais objectivos propor uma metodologia experimental para aferição desse potencial, observar se a terra aplicada nas construções de tabique são locais e verificar se a terra local apresenta as propriedades recomendadas para a construção de terra prescritas em alguma bibliografia da especialidade. Para o efeito, uma construção de tabique foi usada como caso de estudo. Os resultados experimentais indicam que existe uma grande semelhança em termos granulométricos entre a terra aplicada em paredes de tabique e a terra local. Esses resultados também indicam que a terra apresenta uma plasticidade muito inferior àquela prevista na construção de terra.

Palavras-chave: Terra, tabique, construção sustentável, caracterização de solos.

1. Introdução

As técnicas construtivas tradicionais Portuguesas mais relevantes que usam terra como material de construção são o adobe, a taipa e o tabique. De forma sucinta, um elemento construtivo de adobe é construído com blocos de terra. Por sua vez, um elemento construtivo de taipa é um elemento monolítico de terra. Um elemento de tabique é caracterizado por apresentar uma solução mista de madeira e de um material de enchimento à base de terra. Uma estrutura de madeira simples, formada por elementos

verticais ligados por outros horizontais de menor dimensão transversal, é revestida em ambas as faces por terra simples ou por uma argamassa à base de terra.

Exemplos de construções de tabique podem ser encontrados em diversas partes de Portugal. Contudo, a região norte do país e, em particular, a região de Trás-os-Montes e Alto Douro são bastante ricas em construções deste tipo. Continua a haver uma escassez de trabalhos de investigação realizados no contexto do tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro que ajudem a melhorar o conhecimento deste tipo de técnica construtiva tradicional. Estudos de caracterização/identificação dos materiais aplicados, de análise estrutural, de comportamento térmico e acústico, entre outros, são necessários realizar de forma a servirem de auxílio a trabalhos futuros de reabilitação deste tipo de construção.

Um trabalho de investigação [1-9] tem vindo a ser desenvolvido na UTAD e na UA que visa documentar aspectos construtivos relativos às construções de tabique existentes nesta região e a caracterizar/identificar os tipos de materiais construtivos aplicados. No que diz respeito à caracterização/identificação do material terra aplicado, esse trabalho de investigação tem vindo a realizar ensaios de análise granulométrica, de microscopia electrónica de varrimento (SEM/EDS) para a identificação da composição química elementar e de raio-X para a identificação da composição mineralógica elementar, de amostras do material de revestimento/enchimento de elementos construtivos de tabique. No entanto, o estudo da terra existente nas proximidades das construções de tabique (terra local) não foi realizado.

Tendo em conta que um trabalho de reabilitação de uma construção de tabique passará muito possivelmente por aplicar terra local, será necessário saber onde obter esse material e saber se ele, no seu estado natural, será adequado para ser directamente aplicado em obra. Este trabalho de investigação pretende dar um contributo neste aspecto usando para o efeito uma construção de tabique existente no concelho de Lamego, distrito de Viseu, da região de Trás-os-Montes e Alto Douro, de Portugal continental. Amostras de material de enchimento de paredes de tabique foram recolhidas assim como diversas amostras de terra local. Estas amostras foram estudadas experimentalmente nos laboratórios da ESTGOH em termos de granulometria e de plasticidade. Os resultados experimentais foram depois comparados para aferição da ocorrência de analogias em termos de propriedades de material e também foram comparados com parâmetros recomendados na bibliografia [10-11].

Este artigo está estruturado da seguinte forma: Inicialmente, uma breve descrição da técnica construtiva do tabique é realizada; Seguidamente, algumas recomendações sobre a aplicação do material terra na construção civil são apresentadas; Depois, a descrição da construção de tabique usada como caso de estudo, a indicação da sua localização e da localização dos pontos de extracção das amostras de terra local são efectuadas; A descrição da metodologia de ensaio adoptada, a apresentação e a análise dos resultados experimentais obtidos são efectuadas antes da indicação das principais conclusões.

2. Construção de tabique

A construção de tabique está associada à construção vernácula da região de Trás-os-Montes e Alto Douro. Estas construções caracterizam-se por usarem basicamente materiais naturais tais como a pedra, a madeira e a terra. Uma parede de tabique (exterior ou interior) é geralmente constituída por uma estrutura resistente de madeira revestida em ambas as faces por um material que poderá ser terra natural ou uma argamassa à base de terra [1-9]. A estrutura de madeira é constituída por tábuas verticais ligadas entre si por um fasquio (ripas horizontais) através de pregos metálicos. A espécie de madeira usada é geralmente a mais abundante no local. O revestimento basicamente natural desempenha um papel fundamental de protecção da estrutura de madeira em relação ao ataque dos agentes biológicos e em relação ao fogo. Os elementos construtivos de tabique mais frequentes são paredes exteriores (Fig. 1-a) ou interiores (Fig. 1-b) e quase sempre estão localizadas nos pisos superiores



a) Parede exterior

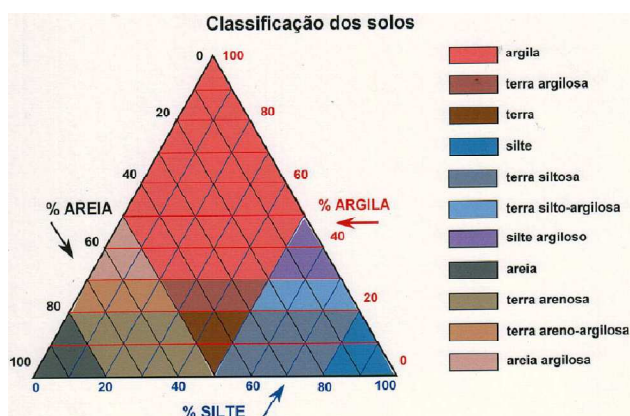
b) Parede interior

Fig. 1 - Paredes de tabique da construção estudada

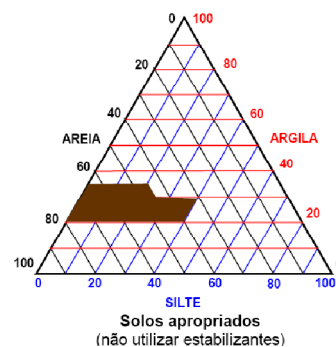
3. Algumas recomendações para o material construtivo terra

Na bibliografia relativa à construção de terra, em particular relativa ao adobe e à taipa, encontram-se inúmeras recomendações para as características granulométricas da terra a aplicar em obra. Por sua vez, relativamente ao tabique ainda existe uma escassez de informação.

Em [10], o triângulo de Moran, Fig. 2 a), é utilizado para classificar a terra. A zona sombreada do triângulo de Moran, Fig. 2 b), representa o domínio em que a terra têm demonstrado boa aptidão para ser aplicada em obra..



a) Classificação dos solos



b) Domínio ideal para aplicação em obra

Fig. 2 - Triângulo de Moran, [10]

Em [11], Delgado & Guerrero referem que os solos devem possuir um mínimo de 5% de argila independentemente da técnica construtiva, taipa ou adobe.

Por sua vez, o grupo Craterre¹, referido no trabalho de Doat et al. (1979) recomenda valores para os limites de consistência que devem de ser respeitados pelos solos da construção de terra [11]. O Quadro 1 apresenta esses valores.

¹ Centro internacional da construção em terra. BP 53, rue de la buthière, Maison Levrat, Parc Fallavier 38092 Villefontaine, Cedex, France.

Quadro 1 - Limites de consistência

Índice de plasticidade
Limite de liquidez
Limite de plasticidade
Limite de retracção

O mesmo grupo também representa a actividade d

Quadro :
Tipo de argila
Pouco activa
Normalmente activa
Activa
Muito activa

4. Trabalho experimental

4.1 Recolha das amostras

Tal como foi referido anteriormente, o tabique (Fig. 1) de uma casa de estudo experimental. A Fig. 3 onde é possível observar que o chão, primeiro andar e águas de alvenaria de pedra de xisto são de tabique. Por sua vez, a forma a ser possível observar de madeira, paredes resistentes paredes de tabique desempenham. No total, foram recolhidas cerca de três de paredes interiores e de



a) Alçado frontal

Fig. 3 - C

Com a intenção de aferir se a terra local cumpre as requisitos, foram recolhidas outras cinco amostras de terra

cada uma das amostras de terra local está indicado na Fig. 5. O local de extracção que mais afastado da construção está é o relativo à amostra 10 e que dista 5 km. A localização da construção de tabique estudada também está referenciado na Fig. 5.

As coordenadas geográficas dos pontos de extracção das amostras de terra local assim como a distância desses pontos à construção de tabique estão apresentadas no Quadro 3.



Fig. 4 - Local de recolha das amostras de terra local



Fig. 5 - Localização geográfica dos pontos de recolha das amostras de terra local e da construção de tabique [12]

Quadro 3 - Coordenadas dos pontos de extracção de terra local e da localização da construção de tabique

	Coordenadas		Distância à construção
	Latitude	Longitude	
Construção tabique	N 41° 09.230'	W 7° 47.117'	---
Amostra n.º 6	N 41° 09.231'	W 7° 47.119'	5 m
Amostra n.º 7	N 41° 09.367'	W 7° 47.403'	0.3 Km
Amostra n.º 8	N 41° 08.910'	W 7° 48.089'	2.7 Km
Amostra n.º 9	N 41° 08.437'	W 7° 48.799'	4.4 Km
Amostra n.º 10	N 41° 08.733'	W 7° 50.179'	5.2 Km

4.2 Análise granulométrica

De forma a caracterizar-se granulométricamente o material terra das paredes de tabique e a terra local procedeu-se à realização da análise granulométrica das dez amostras para determinar quantitativamente a distribuição por tamanhos das partículas (seixo, areia, silte e argila) que constituem cada material. Para a fracção com diâmetro superior a 0.074 mm, o ensaio consistiu na identificação das percentagens mássicas da fracção arenosa (peneiro

n.º 200 ASTM) obtidas por peneiração através de uma série de peneiros normalizados, Fig. 6, [15]. A peneiração foi efectuada por via húmida para se obter a desagregação das partículas, [11]. A fracção fina é aquela que passa no peneiro n.º 200 (ASTM) e foi caracterizada através de um ensaio de sedimentação, Fig. 7, [10, 11, 13] em que a metodologia utilizada foi aquela que se encontra descrita na norma portuguesa [14] e na especificação do LNEC [15].



Fig. 6 - Ensaio de peneiração



Fig. 7 - Ensaio de sedimentação

No Quadro 4, indicam-se as designações atribuídas às partículas de solo em função das suas dimensões [16,17].

Quadro 4 - Constituintes do solo de acordo com a dimensão das partículas

Nomenclatura	Calhau	Seixo	Areia	Silte/limo	Argila
Dimensão (mm)	>60	[2 a 60]	[0.06 a 2]	[0.002 a 0.06]	<0.002

As curvas granulométricas das amostras do material de enchimento das paredes de tabique e das amostras de terra local estão apresentadas nas Fig. 8 e 9, respectivamente.

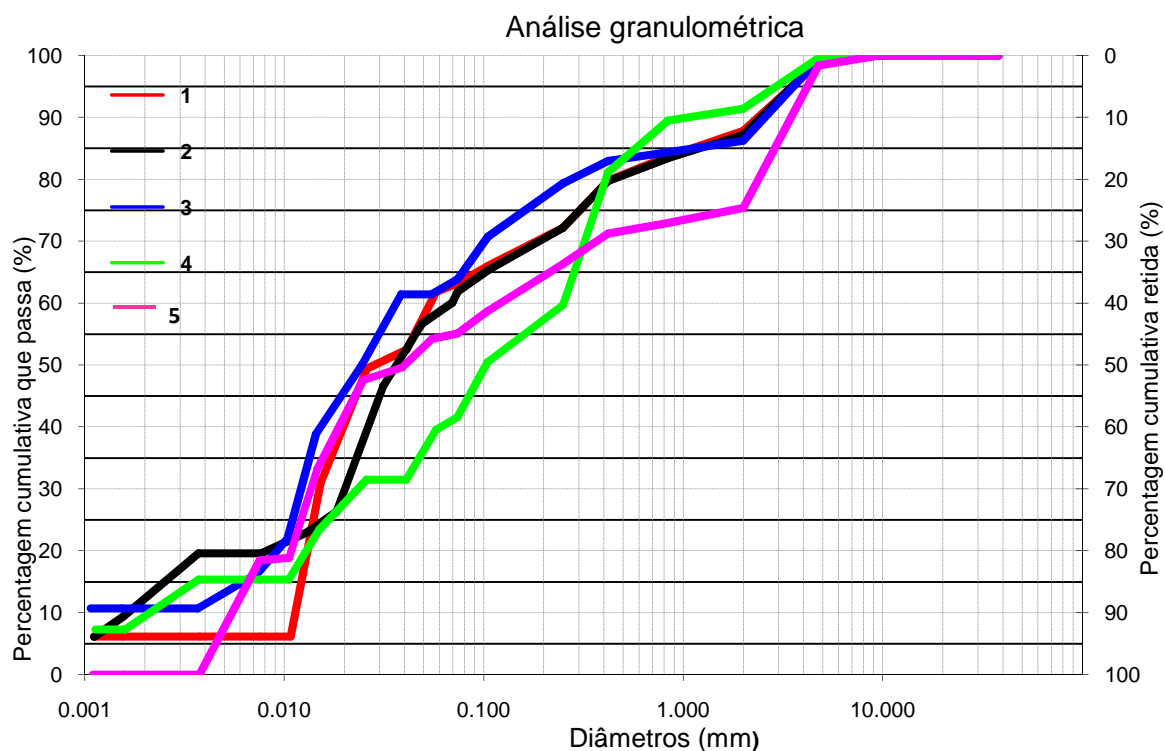


Fig. 8 – Curvas granulométricas das amostras do material de enchimento

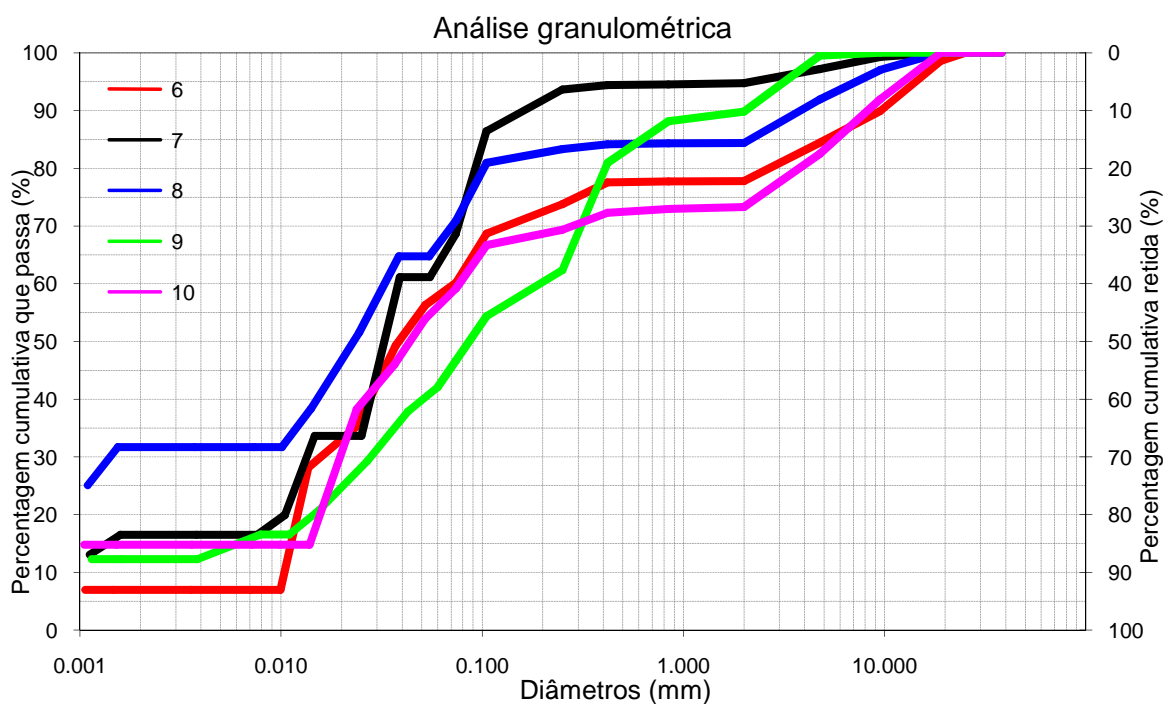


Fig. 9 – Curvas granulométricas das amostras de terra local

As percentagens de argila, silte, areia e seixo medidas em cada amostra têm as proporções indicadas nos Quadros 5 e 6.

Quadro 5 - Granulometria das amostras de enchimento

Amostra	% Seixo	% Areia	% Silte/Limo	% Argila
Dimensões	60>2mm	2>0.06mm	0.06>0.002mm	<0.002mm
1	12.8	23.3	57.8	6.1
2	13.8	24.3	49.9	12.0
3	13.8	22.3	53.2	10.7

4	8.6	49.8	32.6	9.0
5	24.6	20.3	55.1	0.0
Média	14.7	28.0	49.7	7.5

Quadro 6 - Granulometria das amostras de terra local

Amostra	% Seixo	% Areia	% Silte/Limo	% Argila
Dimensões	60>2mm	2>0.06mm	0.06>0.002mm	<0.002mm
6	22.2	18.6	52.2	7.0
7	5.2	30.1	48.2	16.5
8	15.6	13.5	39.2	31.7
9	10.2	43.1	34.4	12.3
10	26.7	14.1	44.4	14.8
Média	16.0	23.9	43.7	16.5

Os resultados da análise granulométrica indicam que as amostras correspondem a uma areia siltosa com argila.

Comparando os valores médios das fracções observa-se que existe uma grande semelhança em termos granulométricos entre a terra usada no enchimento das paredes de tabique e a terra local, o que pode indicar que a terra utilizada na construção é terra local.

A densidade das partículas das amostras foi determinada de acordo com a NP83-1965 [18] e os resultados encontram-se indicados no Quadro 7.

Quadro 7 – Densidade das partículas das amostras.

	Amostras da construção						Amostras da terra local			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Densidade (g/cm ³)	2.65	2.70	2.85	2.70	2.75	2.85	2.60	2.75	2.55	2.55
Densidade média (g/cm ³)			2.73					2.66		

Analisando as densidades médias das amostras, conclui-se que a diferença relativa entre elas pode ser devida ao facto de a terra aplicada como enchimento das paredes de tabique ser humidificada e compactada antes de ser aplicada.

4.3 Limites de consistência

Os ensaios para determinação dos limites de consistência (ou de Atterberg) foram realizados segundo a norma portuguesa NP143-1969, [14,17], utilizando-se para o efeito o aparelho de Casagrande, Fig. 10. A plasticidade é determinada através de dois ensaios, um para determinar o limite de liquidez e outro para o limite de plasticidade. Estes são realizados somente com a parte fina do solo (material que passa no peneiro de abertura 0.42 mm). A diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade define o índice de plasticidade. Os limites de liquidez e de plasticidade dependem geralmente da quantidade e do tipo de argila existente no solo. Entretanto, o índice de plasticidade é unicamente dependente da quantidade de argila.



Fig. 10 - Aparelho de Casagrande

O índice de actividade de uma argila ou o índice de Skempton (A_c), é definido pelo quociente entre o índice de plasticidade e a percentagem de argila existente na amostra. Quanto maior for a actividade de uma argila maior é a sua superfície específica e maior é a

sua expansibilidade e deformabilidade. Com efeito, a actividade da fracção argilosa traduz a maior ou menor capacidade da argila em absorver água, [10]. Os valores obtidos para a actividade da argila dão-nos a indicação indirecta do tipo de argila existente, solos pouco activos implicam a presença de caulite enquanto que, solos com actividade média (ex: 0.75) indicam a presença de ilite. As argilas muito activas pertencem ao grupo da montmorilonites enquanto que as pouco activas pertencem ao grupo da caulinite [10].

No Quadro 8 indicam-se os resultados obtidos na quantificação dos limites de consistência.

Quadro 8 – Limites de consistência das amostras

Amostra	Limite liquidez	Limite plasticidade	Índice plasticidade	Actividade
1	-	-	Não definido	0
2	-	-	Não definido	0
3	-	-	Não definido	0
4	-	-	Não definido	0
5	-	-	Não definido	0
6	-	-	Não definido	0
7	-	-	Não definido	0
8	-	-	Não definido	0
9	-	-	Não definido	0
10	-	-	Não definido	0

A partir destes resultados somos levados a concluir que estas amostras de terra têm muito pouca actividade, relacionada com o facto de terem baixas percentagens de argila. Este facto verifica-se tanto nas amostras do material de enchimento das paredes de tabique como nas amostras de terra local.

5. Conclusões

A análise granulométrica das amostras do material de enchimento das paredes de tabique e da terra local mostra que a granulometria destes materiais é muito semelhante. Este resultado pode indicar que a terra usada nas construções de tabique é local.

Os resultados obtidos neste trabalho de investigação relativamente ao material terra estudado indicam que esse material não cumpre as recomendações prescritas em alguma bibliografia específica de construção de terra porque esses valores não estão no domínio sombreado do triângulo de Moran e porque todas amostras apresentam uma plasticidade inexpressiva. Este facto poderá justificar a razão pela qual é frequente observar a adição de um ligante hidráulico tipo cal à terra nas construções de tabique existentes na região de Trás-os-Montes e Alto Douro [1-9]. Análises SEM/EDS serão necessários realizar para se verificar este facto.

O baixo grau de actividade da argila detectado nas amostras de material ensaiado parece indicar que se trata de uma argila do tipo caulite.

A divergência encontrada entre os resultados obtidos e os recomendados pode ter origem no facto da bibliografia consultada ser específica do adobe e da taipa. Tal conclusão poderá evidenciar que o material terra aplicado na construção de tabique seja de natureza diferente ao usado no adobe ou na taipa. Contudo, todas estas conclusões necessitam de ser aferidas através de um trabalho experimental mais extenso que use um número mais representativo de construções de tabique e de terra local.

Uma metodologia mais expedita, fácil de ser processada *in situ*, de aferição do potencial de utilização da terra local em trabalhos de reabilitação de construções de tabique continua a ser necessária desenvolver.

6. Agradecimentos

Agradece-se a disponibilidade do Laboratório da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Oliveira do Hospital na realização dos ensaios deste trabalho de investigação.

Bibliografia

- [1] Carvalho, J.; Pinto, T.; Varum, H.; Jesus, A.; Lousada, J.; Morais, J. – *Construções em tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro*. CINPAR 2008 – 4th International Conference on Structural Defects and Repair. Civil Engineering Department – University of Aveiro. Portugal. 25-28 June 2008. Editors: Humberto Varum, Francisco Carvalho, Anibal Costa, Alexandre Bertini, Petr Štěpánek. ISBN: 978-989-95695-3-9 (2008).
- [2] Pinto, J.; Varum, H.; Cruz, D.; Sousa, D.; Morais, P.; Tavares, P.; Lousada, J.; Silva, P.; Vieira, J. (2009) - *Tabique Construction Characterization in Douro North Valley, Portugal: A First Step to Preserve this Architectural Heritage* - 2nd WSEAS International Conference on Urban Rehabilitation and Sustainability (URES'09) - Environmental Science and Sustainability - Proceedings published by WSEAS Press (printed and in CD), Editors: Manoj Jha, Charles Long, Nikos Mastorakis, Cornelia Aida Bulucea, ISBN 978-960-474-136-6, ISSN 1790-5095, pp. 48-53 - Baltimore, USA, 7 a 9 de Novembro de 2009.
- [3] Martinho, J.; Gonçalves C., Magalhães, F.; Lousada, J.; Vieira, J.; Varum, H.; Tavares, P.; Pinto, J. - *Construção de tabique no Vale do Douro Sul*. CD do VIII Seminário Iberoamericano de Construcción com Tierra (VIII SIACOT) e do II Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción com Tierra (II SAACT). Editor: CRIATIAAC – FAU – UNT. Junho de 2009. Tucumán, Argentina. ISBN EN TRÂMITE. pp. 514-521. Junho de 2009.
- [4] Pinto, J.; Varum, H.; Cruz, D.; Sousa, D.; Morais, P.; Tavares, P.; Lousada, J.; Silva, P.; Vieira, J. (2010) - Characterization of Traditional Tabique Constructions in Douro North Valley Region - Journal WSEAS Transactions on Environment and Development, ISSN 1790-5079, Issue 2, Vol. 6, February 2010, 105-114.
(<http://www.worldses.org/journals/environment/environment-2010.htm>)
- [5] A. Cepeda, J. Lousada, J. Vieira, H. Varum, P. Tavares, L. Fernandes, J. Pinto (2010) – Estudo do material terra aplicado na construção de tabique existente no Alto Tâmega –Proceedings do 6º Seminário Arquitectura de Terra em Portugal (6º ATP) e 9º Seminário Ibero-Americano de Arquitectura e Construção com Terra (9º SIACOT). Editado em CD. 20 - 23 de Fevereiro de 2010. Universidade de Coimbra. Coimbra. Portugal. 2010.
- [6] Pinto, J.; Cruz D.; Sousa, D.; Morais P.; Tavares P.; Vieira, J.; Varum, H. (2010) – Estudo do Material de Enchimento/Revestimento de Elementos Construtivos de Tabique de Construções Antigas Existentes na Região do Vale do Douro Norte. 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção (APFAC). Editado em CD. Tema 6: Argamassas na Reabilitação e Conservação de Construções. Auditório LNEC, Lisboa, Portugal. 18-19 de Março de 2010.
- [7] A. Cepeda, A. Murta, J. Lousada, J. Vieira, J. Pinto, L. Fernandes, P. Tavares, P. Silva & H. Varum (2010) – *Tabique construction in Alto Tâmega*. Book of abstracts of the 1st International Conference on Structures and Architecture (ICSA2010). Ed. Paulo Cruz. CRC Press, Taylor & Francis Group. London. ISBN 978-0-415-49249-2. pp. 397-398
- [8] C. Gonçalves, J. Pinto, J. Vieira, P. Silva, A. Paiva, L. Ramos, P. Tavares, L. Fernandes, J. Lousada, H. Varum (2010) – *Tabique construction in the Municipalities Association of the Terra Quente Transmontana*. Latest Trends on Cultural Heritage and Tourism. 3rd WSEAS International Conference on Cultural Heritage and Tourism (CUHT '10). Corfu Island. Greece. July 22-24, 2010. Editors: V. Miadenov and Z. Bojkovic. Published by WSEAS Press. ISSN: 1792-4308. ISBN: 978-960-474-205-9. pp. 235-240. Also available in CD-ROM: Proceedings of WSEAS International Conferences. Corfu Island. Greece. July 22-24, 2010. WSEAS Multiconference. Editors: N. Mastorakis, V. Miadenov, Z. Bojkovic, P. Dondon, O. Martin, X. Zheng, M. Jha, Z. Bojkovic. Associate Editors: V. Vasek, D. Simian, N. Bardie, G. R. Gillich, R. Cermak. ISSN: 1792-4291. ISBN: 978-960-474-206-6
- [9] A. Cepeda, J. Lousada, J. Vieira, H. Varum, P. Tavares, L. Fernandes, J. Pinto (2010) – Estudo do material terra aplicado na construção de tabique existente no Alto Tâmega – Terra em Seminário 2010, 6º Seminário Arquitectura de Terra em Portugal e 9º Seminário Ibero-Americano de Arquitectura e Construção com Terra. ARGUMENTUM. Editores: Maria Fernandes, Mariana Correia, Filipe Jorge. 1ª Edição – Fevereiro de 2010. ISBN: 978-972-8479-67-1. pp. 160-162. 2010.
- [10] Obede Faria, 'Caracterização dos solos para uso na arquitectura e construção em terra', Arquitectura de terra em Portugal, pp179-184, Argumentum Setembro 2005. ISBN 972-8479-36-0.
- [11] F. Pacheco Torgal, Said Jalali. A Construção em terra, Universidade do Minho, Guimarães 2009, ISBN 978-972-8692-40-7.
- [12] <http://maps.google.com>
- [13] Pedro Lança, Sofia Soares. A importância da caracterização laboratorial de solos para a construção de Taipa, V seminário de arquitectura de terra em Portugal, 10-13 Outubro 2007 Universidade de Aveiro Portugal, pp. 63-65. Argumentum 1ª ed. Outubro 2007. ISBN 978-972-8479-49-7.
- [14] NP 143 (1969): *Solos – Determinação dos limites de consistência*, IPQ, Lisboa, Portugal.
- [15] E 196 (1966): *Solos - Análise granulométrica*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal.
- [16] E 219 (1968): *Prospecção técnica de terrenos*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal.

[17] Inês Fonseca, 'Arquitectura de Terra em Avis' , pp. 51-55, Argumentum, Setembro 2007. ISBN 978-972-8479-51-0

[18] NP-83 (1965): *Solos – Deteminação da densidade das partículas*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal.